

ОБМЕННОЕ СМЕЩЕНИЕ В СТРУКТУРАХ Ф/АФ, НАВЕДЕННОЕ МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И.О. Джунь, Н.Г. Чеченин

Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ

E-mail: irinkin123@mail.ru

Исследование процессов в многослойных ультратонких структурах, перспективных для спинтроники, остается одной из актуальнейших тем современного этапа развития магнетизма [1]. Этому направлению уделяется большая часть времени на международных конференциях, с ним связывают надежды в прорывном развитии магнитной сенсорики и универсальной магнитной памяти на базе эффектов гигантского и туннельного магнитного сопротивления. Несмотря на огромные успехи в спинтронике, многие наблюдаемые эффекты поняты еще не до конца. Наряду с другими, к таковым вопросам относятся эффекты возникновения однонаправленной магнитной анизотропии, обусловленной взаимодействием между слоями ферромагнетика (Ф) и антиферромагнетика (АФ) на границе раздела (интерфейсе) Ф/АФ, проявляющейся в сдвиге петли гистерезиса на величину т.н. обменного смещения H_{EB} .

Одним из методов упорядочивания ферромагнетика в структуре ферромагнетик/антиферромагнетик (Ф/АФ) является осаждение структуры в присутствии постоянного магнитного поля, приложенного в плоскости подложки. В данной работе исследовались структуры, где в качестве АФ-слоя использовались FeMn и IrMn. По сравнению с FeMn, IrMn имеет более высокую температуру Нееля (соответственно, и более высокую температуру блокировки обменного смещения), а также характеризуется более высокой термальной стабильностью [2]. Благодаря развитию магнитной сенсорики, становится важным получение обменного смещения желаемой величины наряду с важными функциональными свойствами структур, такими как коррозионная и термальная стойкость. Поэтому, влияние материалов как Ф, так и АФ-слоев на величину обменного смещения представляет интерес для получения приборов с желаемыми характеристиками. В данной работе представлены исследования обменного смещения, одноосной анизотропии и собственного резонансного поля для структуры Ф/АФ при различных материалах Ф и АФ-слоев.

Структуры вида Si/Ta30nm/Co(NiFe)7nm/FeMn(IrMn)15nm/Ta30nm были получены методом магнетронного напыления в аргоне при давлении $3 \cdot 10^{-3}$ Торр. В процессе осаждения структур в плоскости подложки было приложено магнитное поле величиной 420Э. Для сравнения магнитных свойств, также осаждалась структура Si/Ta/Co7nm/Ta, представляющая собой свободный, т.е. не связанный обменным взаимодействием с АФ, Ф-слой.

Магнитные свойства образцов исследовались методом угловой зависимости ферромагнитного резонанса (ФМР). Данный метод применяется для исследования высокочастотных свойств ферромагнетиков [3], их анизотропии и намагниченности насыщения [4]. Метод ФМР также успешно применяется для изучения явления обменного смещения [5, 6].

Полагая, что образец расположен под некоторым углом θ между полем однонаправленной анизотропии, которое, в свою очередь, параллельно оси легкого намагничивания Φ -слоя, и направлением внешнего поля ФМР, в приближении достаточно сильной намагниченности насыщения Φ -слоя $4\pi I_s \gg H_r$, положение резонанса определяется собственным резонансным полем $H_{r0} = (\omega/\gamma)^2/(4\pi I_s)$, полем одноосной бинаправленной магнитной кристаллографической анизотропии H_K и полем однонаправленной анизотропии H_{EB} :

$$H_r = \frac{\omega^2/\gamma^2}{4\pi I_s} - H_{EB} \cos \theta - H_K \cos 2\theta$$

Поскольку в наших образцах направление оси легкого намагничивания устанавливается в направлении поля, приложенного при осаждении, в нашем эксперименте θ – угол между направлением поля ФМР и направлением поля, приложенного при осаждении структур.

Исследования ФМР проводились на установке BRUKER ELEXSYS e500 с частотой 9,65 ГГц. Температурные зависимости магнитных свойств образцов были получены методом продувки парами жидкого азота в диапазоне 115-300К.

Не смотря на то, что осаждение структур в присутствии магнитного поля является распространенным методом наведения обменного смещения, в структурах Co/FeMn при комнатной температуре обменное смещение не наблюдалось. Как видно из температурной зависимости обменного смещения, представленной на рисунке 1, температура блокировки обменного смещения составляет около 250К, что значительно ниже температуры Нееля для массивного FeMn.

В случае структуры Co/IrMn ненулевое обменное смещение величиной 14Э появляется уже при комнатной температуре. В отличие от температурной зависимости обменного смещения структуры Co/FeMn, где в области температур ниже 150К наблюдается резкое увеличение обменного смещения от 26 до 110Э, обменное смещение структуры Co/IrMn при понижении температуры возрастает лишь незначительно с 14 Э при 300К до 23Э при 115К.

Одноосная анизотропия структуры Co/FeMn изменяется немонотонно от 60 Э до 12Э с понижением температуры, имея максимум при $T = 250$ К (см. рисунок 2). Эта температура совпадает с температурой блокировки обменного смещения данной структуры. Во всем исследуемом диапазоне температур величина одноосной анизотропии структуры Co/FeMn остается меньше величины одноосной анизотропии свободного Φ -слоя, и уменьшается при возрастании обменного смещения. В случае структуры Co/IrMn величина одноосной

анизотропии незначительно увеличивается с 86 до 115Э с понижением температуры, все время оставаясь близкой к величине одноосной анизотропии свободного Ф-слоя.

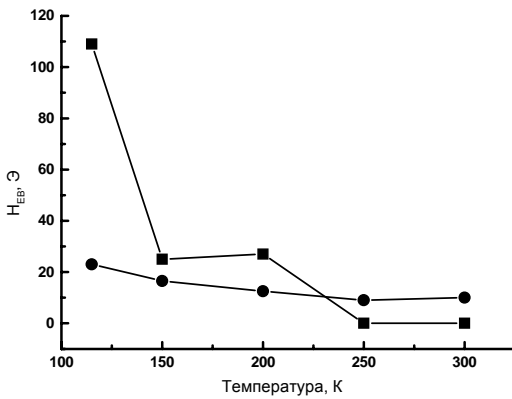


Рисунок 1. Температурная зависимость обменного смещения в структурах Co/FeMn (квадраты) и Co/IrMn (круги).

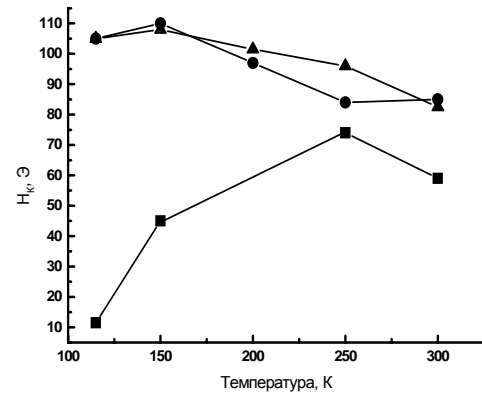


Рисунок 2. Температурная зависимость однонаправленной анизотропии структур Co/FeMn (квадраты), Co/IrMn (круги) и свободного Co-слоя (треугольники).

Собственное резонансное поле H_{r0} структуры Co/FeMn и свободного Ф-слоя практически не изменяются при понижении температуры (рисунок 3). Во всем исследуемом диапазоне температур величина собственного резонансного поля структуры Co/FeMn остается выше величины собственного резонансного поля свободного Ф-слоя, что означает, что намагниченность насыщения свободного Ф-слоя все время остается больше намагниченности насыщения связанного Ф. Напротив, значение H_{r0} в случае связанного с IrMn Co-слоя совпадает с его значением для свободного слоя, а затем резко уменьшается при $T < 200\text{K}$. Это означает, что в данном случае намагниченность насыщения связанного слоя совпадает с ее значением для свободного слоя, а при понижении температуры ниже 200K резко возрастает.

Использование NiFe вместо Co в качестве материала Ф-слоя привело к появлению ненулевого обменного смещения величиной 12Э при комнатной температуре в структуре NiFe/FeMn. В случае структуры с IrMn АФ-слоем замена Co на NiFe приводит к увеличению обменного смещения до 85 Э при комнатной температуре. Температурная зависимость обменного смещения в структуре NiFe/IrMn более выраженная (рисунок 4). Значение собственного резонансного поля свободного слоя NiFe выше его значения для свободного слоя Co (750 и 596 Э соответственно), что означает меньшую намагниченность насыщения. Величина

однонаправленной магнитной анизотропии отличается незначительно (92 и 82Э).

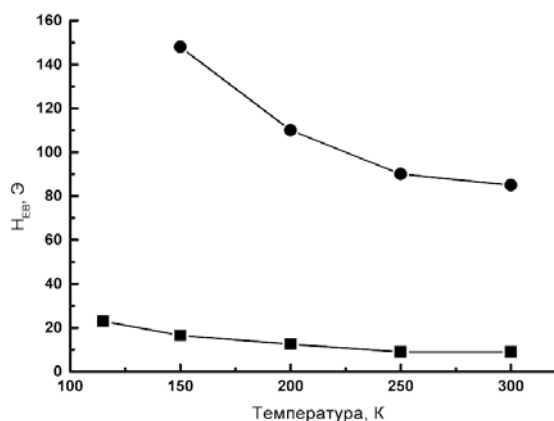
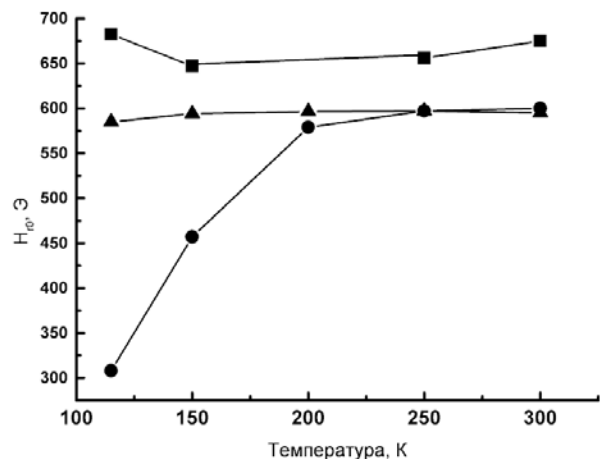


Рисунок 3. Температурная зависимость собственного резонансного поля структур Co/FeMn (квадраты), Co/IrMn (круги) и свободного слоя Co (треугольники). Рисунок 4. Температурная зависимость обменного смещения структур Co/IrMn (квадраты) и NiFe/IrMn (круги).

Различия в магнитных свойствах структур Co/FeMn и Co/IrMn наблюдались и ранее в экспериментах по наведению обменного смещения методом термического отжига в магнитном поле [6, 7]. Тот факт, что температура блокировки обменного смещения ниже температуры Нееля для массивного образца в ряде работ объясняется эффектом низкоразмерного масштабирования [8]. Согласно этой модели, температура Нееля АФ-пленок нанометровой толщины ниже температуры Нееля для массивного АФ, и эта температура понижается при уменьшении толщины пленки. Но даже принимая во внимание эту модель, температура Нееля все равно остается значительно выше температуры блокировки обменного смещения в случае структуры Co/FeMn. Появление обменного смещения при комнатной температуре при замене Co на NiFe говорит о том, что материал Ф слоя также влияет на температуру блокировки обменного смещения. Поэтому, мы можем сказать, что эффект низкоразмерного масштабирования – только один из факторов, влияющих на температуру блокировки обменного смещения. Тот факт, что величина одноосной анизотропии структуры Co/FeMn не совпадает с ее значением для свободного слоя Co во всем исследуемом диапазоне температур может говорить о том, что взаимодействие между Ф и АФ слоями сохраняется даже при температуре выше температуры блокировки обменного смещения.

Появление ненулевого обменного смещения в структуре Co/IrMn можно объяснить более высокой температурой Нееля IrMn, и, соответственно, более высокой температурой блокировки обменного смещения. Как было показано, в данной системе обменное смещение не изменяется значительно. Возможно, что резкое возрастание обменного смещения происходит при температуре ниже, чем 115K. Увеличение обменного смещения в системе NiFe/IrMn по сравнению с

системой Co/IrMn наиболее вероятно обусловлено более низкой коэрцитивностью пермаллоя.

Было показано, что свойства как Ф, так и АФ слоев оказывают влияние на величину и температуру блокировки обменного смещения. При низких температурах величина обменного смещения достаточно большая как в Co/FeMn-, так и в NiFe/FeMn-структурах, в то время, как при комнатной температуре только структура NiFe/FeMn демонстрирует достаточно большую величину H_{EB} .

Работа выполнена при поддержке Российского агентства по науке и инновациям (г/к 02.740.11.0242, г/к 02.740.11.0389). Исследования ФМР проводились на оборудовании Центра коллективного пользования Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

1. Н.Г. Чеченин. Магнитные наноструктуры и их применение. Из-во Грант Виктория, М. (2006). 166с.
2. A.J. Devasahayam, P.J. Sides, M.H. Kryder, J. Appl. Phys. 83 (1998) 7216-7218.
3. N.G. Chechenin Phys. of the Sol. State 46 (2004) 466.
4. N.G. Chechenin, E.V. Khomenko, D.I. Vainchtein, and J.Th.M. De Hosson J. Appl. Phys. 103 (2008) 07E738.
5. A.A. Layadi, W.C. Cain, J.-W. Lee, J.O. Artman IEEE Trans. Magn. MAG-23 (1987) 2993.
6. E.V. Khomenko, N.G. Chechenin, A.Yu. Goikhman, A.V. Zenkevich JETP Lett. 88 (2008) 693.
7. I.O. Dzhun, S.A. Dushenko, N.G. Chechenin, E.A. Konstantinova, Journal of Physics: Conference series, (2011), in print.
8. T. Ambrose, C.L. Chien J. Appl. Phys. 79 (1996) 5920.